

# Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie  
zaměřením tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie  
Oddělení tváření kovů a plastů

**Vliv teploty formy při výrobě na rozměrovou stálost dílů při teplotní zátěži**  
**Influence of Production Mold Temperature for Parts Dimensional Stability**  
**during Heat Stress**

Jaroslav Fatrdla

**KSP – TP – B-----**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Aleš AUSPERGER, Ph.D.** – TU v Liberci

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Pavel Linhart, Ph.D.** – Tesla Jihlava, s.r.o

Rozsah práce a příloh:

Počet stran : 44  
Počet tabulek : 0  
Počet příloh : 6  
Počet obrázků : 12  
Počet

Datum: 3.1.2014



# ANOTACE

## Technická univerzita v Liberci

### Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: B2341 – Strojírenství

Student : Jaroslav Fatrdla

Téma práce:

**Vliv teploty formy při výrobě na rozměrovou stálost dílů při teplotní zátěži.**

**Influence of Production Mold Temperature for Parts Dimensions Stability during Heat Stress**

Číslo BP: KSP – TP – B-----

Vedoucí BP: Ing. Aleš AUSPERGER, Ph.D. – TU v Liberci

Konzultant BP: Ing. Pavel Linhart, Ph.D. – Tesla Jihlava s.r.o.

#### ***Abstrakt:***

Tato bakalářská práce se zabývá studiem rozměrů dílce a jejich stability při následném teplotním zatížení. Pro experiment byly použity dva konstrukční materiály, PBT GF 30 a PA66 GF 35. Dílce byly vyrobeny při třech nastavení teploty formy a změřen rozměr dílce. Dílec byl následně temperován v horkovzdušné peci při teplotě 150°C a poté byla vyhodnocena změna rozměru. Získané výsledky popisují zvyšující se rozměrovou stabilitu dílce se zvyšující se teplotou formy.

#### ***Abstract:***

This thesis deals with the study of component dimensions and their stability during temperature load. For the experiment there were used two materials, PBT GF 30 and GF 35 PA66. Component was made for three temperature settings of mold and measured dimensions of the component. The component was annealed in air kiln at 150 ° C and then dimensions changes were evaluated. Obtained results shows dimension stability increase with rising of mold temperature.

**Místopřísežné prohlášení:**

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 3.1.2014

.....  
Jaroslav Fatrdla  
Uhřetovské 11  
588 32 Brtnice

## OBSAH

1. ÚVOD.....	6
2. TEORETICKÁ ČÁST..	7-23
2.1 Plasty .....	7
2.1.1 Charakteristika a rozdělení plastů.....	7
2.1.1.1 Termoplasty.....	7
2.1.1.1.1 Rozdělení a charakteristika vybraných termoplastů.....	8
2.2. Technologie zpracování plastů .....	12
2.2.1. Vstřikování plastů.....	12
2.3 Průvodní jevy při ochlazování taveniny při výrobě dílce .....	14
2.3.1. Smrštění .....	14
2.3.1.1. Změny rozměrů výrobků z termoplastů .....	15
2.3.1.2. Krystalizační chování a jeho vliv na smrštění .....	16
2.3.1.3. Průběh krystalizace a dělení krystalizace .....	17
2.3.1.4. Kvalita výrobku - procesní parametry - výrobní smrštění .....	19
2.3.1.5. Teplota stěny formy.....	19
2.3.2. Vnitřní pnutí .....	19
2.3.2.1. Tepelné pnutí .....	20
2.3.2.2. Pnutí z přeplněné formy.....	20
2.3.2.3. Pnutí nehomogenní orientace.....	20
2.3.2.4. Pnutí deformační.....	20
2.3.2.5. Pnutí krystalizační.....	21
2.4. Predikce kvality, deformací a změn rozměrů.....	21
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	24-25
3.1. Popis experimentu .....	24
3.2. Postup experimentu.....	25
4. VÝSLEDKY .....	27
4.1. Grafy naměřených hodnot .....	27
4.2. Shrnutí výsledků výroby a teploty.....	30
5. ZÁVĚR.....	32
6. Seznam použité literatury.....	34
7. Seznam příloh .....	36

## 1.ÚVOD

Plasty a technologie jejich zpracování jsou nedílnou součástí dnešní moderní doby. Polymerní materiály jsou známé již mnoho desetiletí. Ale až současná doba umožňuje rozšiřování jejich použití v celé řadě aplikací. Výrobky bývají často vystaveny mechanickému a tepelnému namáhání, a proto vyžadují poměrně vysoké hodnoty pevnosti a modulu pružnosti používaných materiálů v příslušném rozsahu provozních podmínek. Navíc musí být součásti obvykle velmi přesné a musí mít za provozních podmínek dostatečnou rozměrovou a tvarovou stabilitu. Pro získání kvalitních a dlouhodobě spolehlivých výrobků, které jsou schopné splnit požadavky zákazníků, se musí počítat s omezenou rozměrovou a tvarovou stálostí plastů, se značnou závislostí jejich vlastností zejména na čase a teplotě a s velkým vlivem zpracovatelských podmínek na konečné vlastnosti výrobků, kdy ekonomické tlaky nesmí ohrozit kvalitu výrobku.

V současné době je na trhu k dispozici několik tisíc druhů plastů, z čehož asi 80 % tvoří termoplasty. Tyto materiály jsou výhodné jak z ekonomického tak ekologického hlediska. Výrobky z termoplastů lze snadno a téměř bez odpadu recyklovat, případně dále při recyklaci modifikovat. Jde o materiály teplem tvárné, které se zpracovávají tvářením z taveniny. Z tvářecích technologií je pro velkosériovou výrobu plastových výrobků dominantní technologie vstřikování.

Z hlediska vlastního procesu vstřikování i z hlediska aplikačního použití je velmi důležité rozdělení termoplastů na amorfnní a semikrystalické, neboť chování při zahřívání i následném vstřikování je pro obě citované skupiny odlišné a projeví se i ve vlastnostech finálních výstřiků. I když je množství vyráběných amorfnních plastů větší než semikrystalických, pro technicky náročné aplikace je tento poměr opačný: na tzv. konstrukčních termoplastech se semikrystalické polymery podílejí až 75 procenty.

Cílem této bakalářské práce je sledovat kvalitu dílce jako závislosti rozměrové stability dílce vyrobeného ze dvou typů konstrukčních semikrystalických materiálů (PBT GF30 a PA66 GF35) při různých teplotách formy po následné teplotní zátěži. Výstupem jsou rozměry ustálené po výrobě a průběh jejich změn po temperování v horkovzdušné peci..

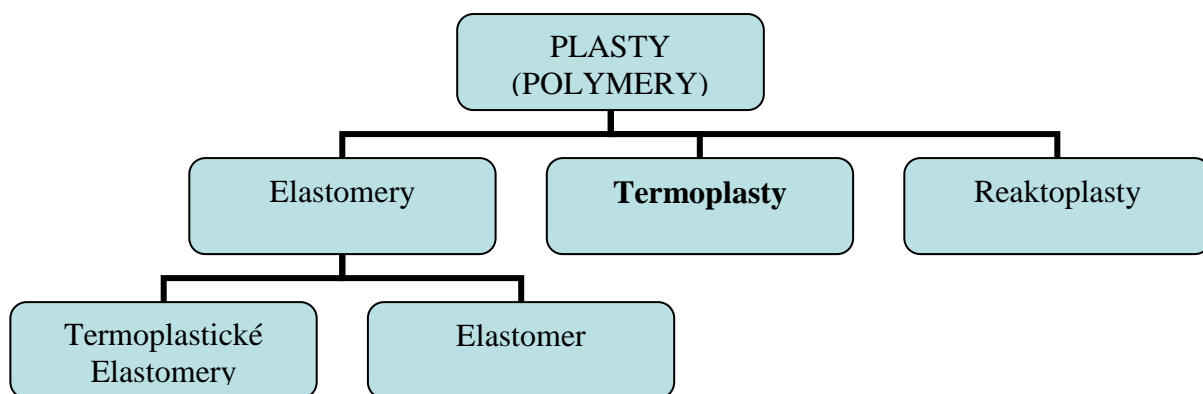
## 2. Teoretická část

### 2.1 Plasty

#### 2.1.1 Charakteristika a rozdělení plastů

Plasty - polymery jsou látky, jejichž strukturu tvoří makromolekulární řetězce (makromolekula = molekula řetězovitého typu tvořená tisíci až miliony atomů). Polymer vzniká řazením monomerů různými způsoby. Polymery jsou chemické látky velké šíře vlastností, které ve svých makromolekulách obsahují převážně atomy uhlíku, vodíku a kyslíku. Polymery ve formě výrobku jsou v tuhém stavu, ale při zpracování v podstatě stavu kapalném, což dovoluje formovat výrobek do požadovaných tvarů a rozměrů. [1]

Plasty lze rozdělit na elastomery, termoplasty a reaktoplasty. viz. *obr. 1*



*obr. 1 základní rozdělení plastů*

##### 2.1.1.1 Termoplasty

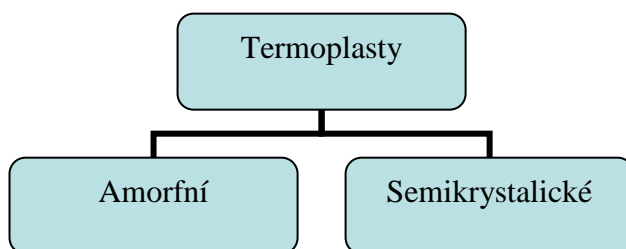
Jakožto nejrozšířenější mají přímé (lineární) řetězce nebo řetězce s bočními větvemi. Při ohřevu termoplastů dochází k uvolnění soudržnosti řetězců a hmota se stává viskózní. V tomto stavu dochází ke tváření. Po ochlazení se vrátí do původního pevného stavu aniž by došlo k podstatným změnám jejich vlastností. Termoplast je charakteristický tím, že fyzikální proces ohřevu a ochlazení je opakovatelný. Termoplast je recyklovatelný. Pro termoplast jsou charakteristické teploty: [2]

Teploty měknutí - teplotní rozsah, ve kterém lze polymer použít, je třeba znát při praktických aplikacích materiálu pro konstrukci strojních součástí. Stanovení pomocí zkoušek –Metoda Martens, metoda Vicat, metoda HDT (ISO R/75). [2]

Teploty tvarování leží u amorfních plastů těsně pod teplotou viskózního toku  $T_f$ , kdy se hmota nachází v kaučukovitě elastickém stavu, u krystalických plastů těsně nad teplotou tání  $T_m$ . [2,3]

Teploty tavení začínají přibližně hodnotou 190 °C, záleží na druhu plastu. Musíme si uvědomit, že při dosažení teploty, která se blíží hranici měknutí, se mění všechny mechanické vlastnosti termoplastů. Vzhledem k tomu, že nejde o vysoké teploty, je třeba s tím při používání výrobků z termoplastů počítat. [ 2,3 ]

#### 2.1.1.1.1 Rozdělení a charakteristika vybraných termoplastů viz. obr. 2



obr. 2 – dělení termoplastů

Termoplasty jsou polymerní látky schopné částečné krystalizace – **Semikrystalické termoplasty.** (PE, PP, POM, **PA**, **PBT**, PET, PPS, LCP, PEEK, PI)

Stupeň krystalinity lze určit jako poměr počtu molekul polymeru, které při tuhnutí dosáhnou uspořádaného stavu, vzhledem k počtu molekul, které zůstanou v neuspořádaném stavu.

Pokud makromolekuly nemají schopnost uspořádat při přechodu z kapalného do tuhého stavu a řetězce zůstávají v nepravidelném uspořádání ve stavu pevném nazýváme takový termoplast – amorfním. [ 2,3 ]



**Amorfní polymery** (PS, SB, SAN, SBS, ASA, ABS, MABS, PMMA, PC, PSU, PES) mají 0% krystalinitu a vyznačují se obvykle jako transparentní a použitelností do teploty  $T_g$ .

Žádný krystalický polymer nemůže dosáhnout 100% krystalinity. [ 2,3]

- **PBT** - Polybutylene Terephthalate

Je řazen do skupiny polyesterových plastů. PBT je semi-krystalický polymer používaný hlavně pro zpracování vstřikováním pro technické aplikace. PBT se vyrábí polykondenzací kyseliny tereftalové nebo dimetyl tereftalátu s 1,4-butanediolem. [ 4 ]

Mezi klíčové vlastnosti polybutylen-tereftalátu (PBT) patří:

- Vysoká pevnost
- Vysoká trvalá servisní teplota (až 150 °C)
- Velmi dobrá creep odolnost i při vyšších teplotách
- Vysoká tuhost a tvrdost
- Nízké tření a odolnost proti otěru
- Velká rozměrová stálost
- Dobrá odolnost vůči povětrnostním podmínkám
- Nízká koroze pod napětím [ 4 ]

**PBT** je materiál mimořádně vhodný pro technické aplikace vyžadující vysokou rozměrovou stabilitu, protože **polybutylen-tereftalát** má nízký koeficient tepelné roztažnosti a nízkou nasákavost vody.

Příklady typického použití PBT (polybutylen-tereftalátu):

- Elektrické a elektronické díly
- Konektory
- Zásuvky
- Cívky
- Spínací zařízení nízkého napětí
- Osvětlovací technika
- Vypínače
- Automobilový průmysl
- Části spalovacích systémů

- Komponenty elektrických systémů
- Čidla [ 4 ]

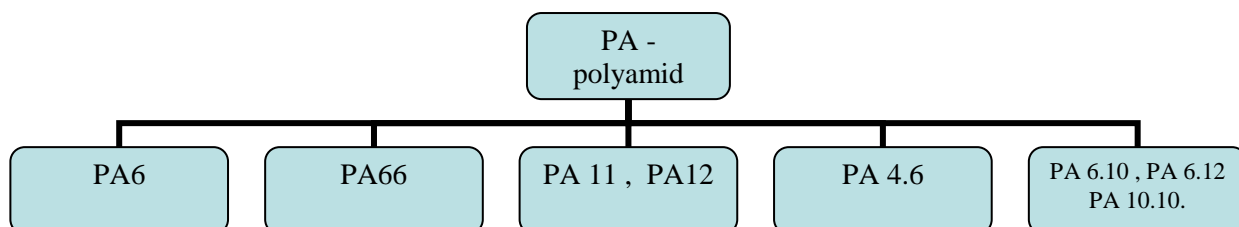
- **PA – polyamid**

Polyamidy patří mezi nejčastěji používanou skupinu plastů mezi technickými polymery. Je to způsobeno především jejich vynikajícím poměrem vlastností a ceny.

Rozdělení polyamidů do jednotlivých skupin dle typů popisuje **obr.3**

Dva hlavní typy polyamidů jsou: Polyamid 6 (PA 6) a Polyamid 6.6 (PA 66). Několik dalších typů polyamidů lze připravit za pomoci změn chemické struktury (délka řetězců a chemické uspořádání). Jedná se o následující druhy:

- Polyamid 11 (**PA 11**)
- Polyamid 12 (**PA 12**)
- Polyamid 4.6 (**PA 4.6**)
- Polyamidy 6.10, 6.12 a 10.10 (**PA 6.10, PA 6.12, PA 10.10.**) [ 5 ]



*obr.3 rozdělení polyamidů do jednotlivých skupin*

Základní řetězec těchto polymerů je tvořen peptidickými vazbami. Polyamidy patří ke konstrukčním plastům. Vynikají dobrou zatékavostí. Používají se s nejrůznějšími plnivy. Nebarvené vypadají mléčně bíle, až nažloutle. Jsou velmi nepoddajné a odolné proti otěru. Jsou odolné vůči běžně užívaným rozpouštědlům a chemikáliím s výjimkou kyselin a louhů.

Typické vlastnosti PA:

- pevnost, tuhost a houževnatost
- odolnost vůči vysokým teplotám

- odolnost vůči chemikáliím
- tvarová stabilita
- rozměrová stabilita
- lakovatelnost a pokovitelnost [ 5 ]

#### Příklady typického použití PA

Polyamidy jsou používány v celé řadě aplikací v automobilovém průmyslu, elektro průmyslu, domácích spotřebičích a stavebnictví.

Polyamid 6 (PA 6) - patří k nejhouževnatějším, avšak nejvíce navlhavým PA. Má malý koeficient tření a výbornou odolnost proti otěru, nízkou hodnotu tečení, tzv. creep (pomalá plastická deformace materiálu vyvolaná dlouhodobým působením teploty a času) a použitelnost v širokém intervalu teplot.

PA 6.10 - má poněkud nižší pevnost, ale i nižší navlhavost. Je vhodný pro přesné výstřiky.

PA 6.6) - velmi pevný, odolný proti opotřebení. Ve vysušeném stavu není tak křehký jako PA6.

PA 11, PA 12 - jsou nenavlhavými typy PA. Nižší pevnost oproti PA 6.6. Jsou houževnaté i za mrazu a vykazují dobrou rozměrovou stabilitu. Proto jsou vhodné pro rozměrově přesné výstřiky.

Polyamidy se v hojné míře plní skelnými mikrovláknami anebo sklem ve formě 0mikroskopických kuliček. [ 5 ]

#### • **Polykarbonát (PC)**

Polykarbonát je produkt kondenzace. Základními surovinami jsou uhlí a zemní plyn. Čistý plast je čirý jako sklo, tvrdý, pevný, elastický s vynikající rázovou a vrubovou houževnatostí. Jeho mechanické vlastnosti (zejména houževnatost) je možné zesílením skleněnými vlákny ještě zlepšit, takže může téměř nahradit kovový materiál. Je odolný vůči kyselinám, alkoholu, benzínu, tukům a olejům. Louhy tento plast ničí. Je nehořlavý a odolný proti povětrnostním vlivům. Lze ho leštit, obrábět, lepit, svařovat. Tepelná odolnost je až do 135 °C. Křehne při -140 °C. Má velmi

nízkou nasákavost a výborné dielektrické vlastnosti. Dlouhodobé působení vody nad 60 °C vyvolává destrukci. V průběhu času dochází k barevným změnám (žloutne). Vyšší viskozita taveniny způsobuje obtížnější vstřikování. Má sklon k vnitřnímu pnutí. Je vhodný pro přesné výstřiky.

Používá se na výrobu silně namáhaných dílů např. nábytkového kování a krytů elektrických přístrojů (např. vrtaček). V automobilovém průmyslu se s polykarbonátem setkáme u reflektorů, blinkrů atd. Ve formě průhledných desek se používá jako nerozbitné stavební díly - např. výplně schodišťových zábradlí a pro neprůstřelné zasklívání přepážek. [ 3 ]

## **2.2. Technologie zpracování plastů – tvářecí technologie**

- Technologie vstřikování
- Technologie vytlačování
- Lisování , válcování , odlévání, laminování , vypěňování ..... [ 2 ]

### **2.2.1. Vstřikování plastů**

Vstřikování nebo také lisování plastů se označuje takový způsob tváření polymerních materiálů, při kterém se plastifikovaný materiál plní vysokou rychlostí (vstřikuje) do uzavřené dutiny temperované formy, kde polymer tuhne a získává tvar požadovaného výrobku. Vstřikování probíhá za neizotermních podmínek, kdy dochází k procesu tuhnutí taveniny ovlivněným souborem reologických vlastností polymerů. Samotný vstřikovací cyklus je poměrně krátký a celý proces může být vysoce automatizovaný. Umožňuje ekonomicky produkovat kvalitní a dostatečně přesné výrobky (výstřiky) ze širokého výběru plastů. [ 1,2 ]

Při popisu vstřikovacího cyklu je nutno jednoznačně definovat jeho počátek. Za počátek cyklu lze považovat okamžik odpovídající impulsu k uzavření formy.

**Vstřikovací proces lze rozdělit na následující hlavní fáze:**

- plastikace materiálu v plastifikačním válci
- vstříknutí taveniny do formy – plnění
- dotlačování taveniny a její chlazení ve formě
- vyjmutí výstřiku z formy. [ 2,3 ]

## **Plastifikace materiálu v plastifikačním válci– plastifikační fáze**

Příprava materiálu, je základním předpokladem pro optimální naplnění tvarové dutiny formy. Šnek se začne otáčet, pod násypkou nabírá granulovanou hmotu, plastifikuje ji a vtlačuje do prostoru před čelem šneku. Současně ustupuje dozadu, přičemž musí překonávat zpětný tlak. Správné nastavení teploty, otáček šneku a zpětného tlaku na šneku zaručuje teplotní a viskózní homogenitu taveniny v dávce před čelem šneku. [ 2 ]

### **Vstřikování taveniny do formy:**

Čas vstřikování má být a je velmi krátký, protože tavenina se při styku s formou ochlazuje a ztrácí tekutost, jen u rozměrově velkých výlisků dosahuje několika málo sekund.

### **Dotlačování taveniny a její dochlazení ve formě**

Chlazení výstřiku ve formě probíhá již během vstřikování, zejména však souběžně s dotlačováním. Je ovlivněno především tvarem výlisku a tloušťkou stěn, teplotou taveniny, vstřikovací rychlostí, průběhem dotlaku, **teplotou formy**, dále konstrukcí chlazení formy. Doba chlazení by měla být tak dlouhá, aby zajistila, že při vyhazování výlisku z formy nedojde k jeho deformaci, přetržení, protlačení vyhazovačů ,atd. určuje v podstatě délku vstřikovacího cyklu, a tím i hospodárnost zpracování. [ 3 ]

U běžných výstřiků je proto volena teplota formy co nejnižší - avšak tak, aby nebyla narušena kvalita povrchu výstřiku, nebo nebylo prudkým ochlazením vyvoláno ve výstřiku **velké vnitřní pnutí**. U přesného vstřikování je nezbytné, zvláště u semikrystalických polymerů, temperovat formy na teploty, kdy lze dosáhnout rovnovážných podmínek z hlediska krystalizace i z hlediska orientace makromolekul. [ 6 ]

Obecně platí, čím delší je doba ochlazování a čím je teplota formy vyšší tím je u semikrystalických plastů vyšší obsah krystalického podílu a proto jsou při takovémto nastavení technologických parametrů ochlazovací fáze ovlivněny i další vlastnosti výrobky (lepší mechanické vlastnosti, větší smrštění, menší dosmrštění, tažnost a navlhavost) .

Optimalizace ochlazovací fáze je výrazným jevem při ekonomice výroby– délky výrobního cyklu. Z hlediska kvalitativního požadavku – rovnoměrnost vnitřní struktury, minimalizace vnitřního pnutí, maximalizace izotropie by měla být co nejdelší, z ekonomických hledisek co nejkratší. Zde je nutný kompromis pro splnění požadavků na kvalitu výrobku, které je možné dosáhnout pouze celou řadou na sebe navazujících úkonů optimalizace a seřízení. [ 2,6 ]

### **Vyjmutí výstřiku z formy**

Dochází k otevření formy a dokončení výrobního cyklu , kdy je výrobek dostatečně ochlazen a připraven tedy k vyhození pomocí vyhazovačů z tvarové dutiny formy. [ 2 ]

## **2.3. Průvodní jevy při ochlazování taveniny při výrobě dílce**

### **2.3.1. Smrštění**

Je jedna ze základních vlastností všech druhů plastů. Při vstřikování jakéhokoliv termoplastu amorfního nebo semikrystalického platí , že rozměry výrobku po vyhození z formy jsou rozdílné od rozměrů měřených po určité době. Uvedené rozměrové změny jsou přičítány smrštění nebo deformacím. Je nutné důrazně tyto dva pojmy rozlišit a oddělovat – je zde podstatný rozdíl a deformace může a je často důsledkem smrštění. Smrštění lze rozdělit jako:

#### Výrobní smrštění

Rozdíl mezi rozměrem daným formou při 23°C a rozměrem výstřiku z téže formy měřeným v rozmezí 16 hodin až 24 hodin po vyhození z formy a skladováním v suchém prostředí [ 7 ]

#### Dodatečné smrštění

Smrštění materiálu v důsledku relaxace vnitřních napětí spolu s re-orientačními procesy, při uložení za vyšších teplot ,za provozu při vyšších teplotách nebo v důsledku případné dokrystalizace (vliv teploty a času). [ 7 ]

Samozřejmostí je požadavek na výrobek splňující předepsané rozměry, definované jmenovitými hodnotami a jejich tolerancemi, jak rozměrovými tak tolerancemi tvaru a polohy. Tvarová dutina musí být o změny způsobené smrštěním

v daném místě zvětšena. Takto jednoduše definovaný požadavek lze však dosáhnout velmi obtížně, neboť na výsledné smrštění působí celá řada parametrů.

Jako základní lze uvést:

- procesní parametry výroby (teploty, tlaky, časy)
- typ termoplastu a jeho vlastnosti
- konstrukce výrobku (tloušťka stěny, přepážky, tvary ovlivňující smrštění...)

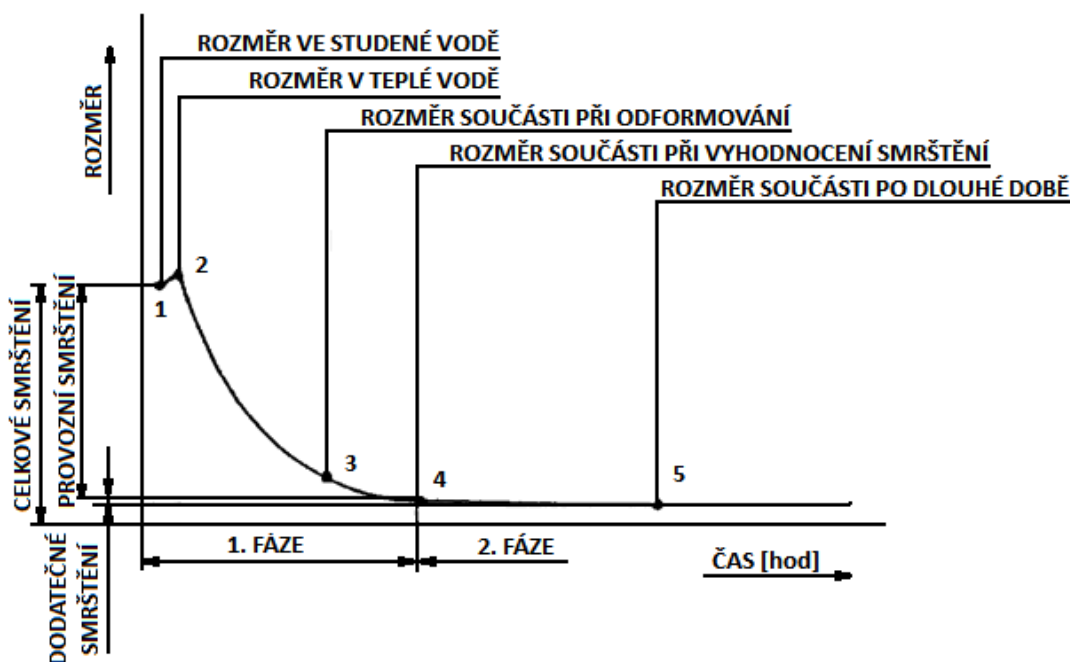
[ 6 ]

### 2.3.1.1 Změny rozměrů výrobků z termoplastů

Obr. 4 zobrazuje průběh změn rozměrů výrobku při procesu vstřikování.

Vstřikování termoplastů probíhá při nastavené teplotě výrobní formy. Ohřevem na provozní teplotu dojde ke zvětšení rozměrů formy – možno zanedbat.

Po vyhození výrobku z formy dojde ke zmenšení rozměrů – výrobní smrštění, které je časově ukončeno cca 24 hod po výrobě. Po ustálení rozměrů probíhají na výrobku další nevratné změny rozměrů způsobené dosmrštěním, změnami vlivem změn orientace, uvolňováním vnitřního pnutí a případnou dodatečnou krystalizací a to převážně v případech, kdy procesní parametry nejsou optimálně nastavené (např. příliš nízká teplota formy...) Lze konstatovat, že velikost dosmrštění je cca 0,1 hodnoty smrštění výrobního. Při zvýšených teplotách se dosmrštění zvětšuje. [ 6 ]



obr. 4 průběh změn rozměrů výrobku při procesu vstřikování [ 6 ]

### 2.3.1.2. Krystalizační chování a jeho vliv na smrštění

U semikrystalických materiálů se k teplotním efektům a kontrakci přidává smrštění vlivem vzniku krystalické struktury-krystalizace. Při ochlazování tavenin semikrystalických materiálů dochází ke krystalizaci, která ovlivňuje i objemové smrštění výrobku.

Struktura a tím i vlastnosti výrobků ze semikrystalických polymerů jsou velice závislé na podmínkách krystalizace-čas, teplota formy, teplota taveniny včetně místa vzniku krystalické struktury. Rychlost ochlazování taveniny má vliv na nukleaci a vznik krystalů, na jejich růst a na vývoj struktury výrobku. [ 6 ]

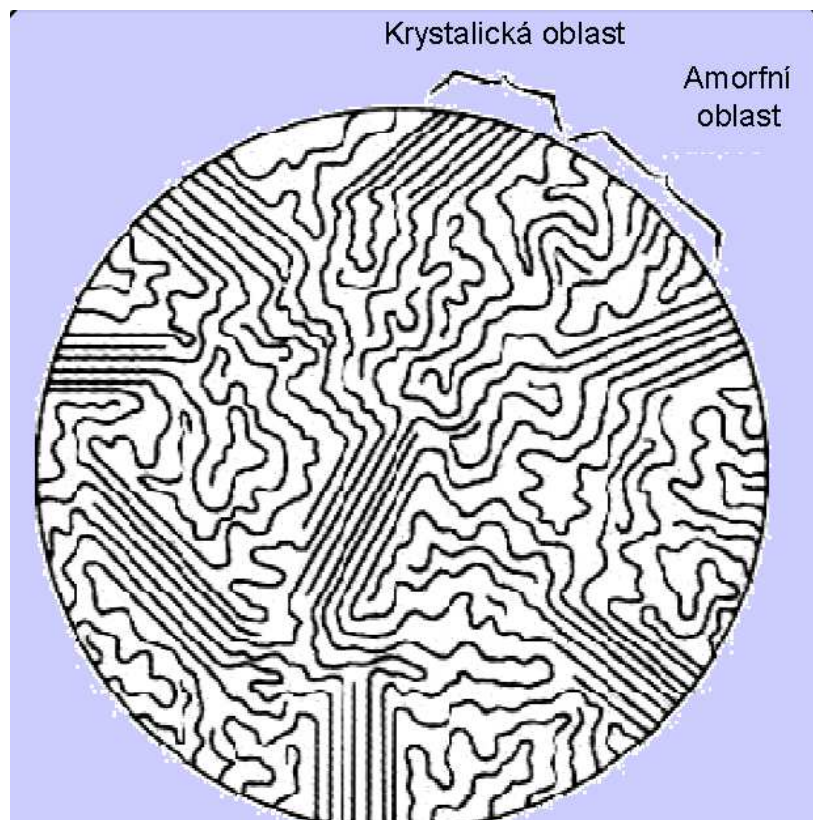
Pomalé ochlazování (vysoká teplota stěny formy ) podmiňuje vznik vysokého stupně krystalizace tedy i velkého smrštění. viz. *obr. 5. zobrazení oblastí v krystalickém polymeru.*

Rychlé ochlazování zpomaluje nukleační postupy a vzniká struktura s nízkým stupněm krystalizace a výrobky mají menší smrštění. Tento způsob ochlazování, ač je ekonomičtější přináší rizika spojená s nebezpečím dokrystalizace, které vyvolá další smrštění.

Lokální rozmístění krystalické struktury vyvolává další problém. Část výrobku s relativně vyšším stupněm krystalické struktury bude mít rozdílné vlastnosti než má část s malým podílem krystalické struktury.

Krystalická struktura je vyjadřována pomocí stupně krystalinity. Krystalinita je poměr počtu molekul polymeru, které při tuhnutí dosáhnou uspořádaného stavu, vzhledem k počtu molekul, které zůstanou v neuspořádaném stavu. Amorfní polymery mají 0% krystalinitu. Žádný krystalický polymer nemůže dosáhnout 100% krystalinity. [ 8 ]





obr. 5 Zobrazení oblastí v krystalickém polymeru [ 8 ]

### 2.3.1.3. Průběh krystalizace a dělení krystalizace

Probíhá obecně mezi teplotou zesklennění a teplotou tání a jeho postup je členěn do dvou kroků.

#### 1.Nukleace

Tvorba krystalizačních zárodků, na nichž rostou krystality (sférolity). Těsně pod teplotou tání se tvoří jen malé množství zárodků, se snižující se teplotou rychlost nukleace roste až k maximu, načež se směrem k teplotě zesklennění opět snižuje v důsledku snižující se pohyblivosti makromolekul [ 8 ]

#### 2.Růst krystalinitů

Při vstřikování plastů dochází ve vstřikovací formě k nerovnovážným podmínkám ve fázi tuhnutí a chlazení polymeru. Tato skutečnost má za následek výrazné rozdíly mezi texturami povrchu a vnitřku vzorku. Znalost těchto rozdílů v textuře nám však umožňuje posuzovat kvalitu vyráběných dílů. Snahou výrobců je minimalizovat výrobní časy a volit tak nejen nejkratší dobu plnění formy, ale také co nejrychlejší chlazení vstřikovaného dílu, což je typickým podnětem sekundární

krystalizace výrobku během jeho užívání (dokrystalizace) a tato skutečnost je prokazatelná hodnocením textury výstřiku v tloušťce jeho průřezu. [ 8 ]

**Podle doby průběhu krystalizace dělíme ji na:**

#### **Primární krystalizaci**

V procesu vstřikování při tuhnutí taveniny semikrystalických plastů ve vstřikovací formě. Krystalizace závisí na rychlosti tuhnutí taveniny plastu, která ovlivňuje heterogenitu krystalizačních útvarů (sférolitů) v průřezu výstřiku (na jeho povrchu a v jádře) a také výsledný obsah krystalické fáze (stupeň krystalinity). Výsledný stupeň krystalinity, jakož i heterogenita velikosti sférolitů v průřezu výstřiků ovlivňují jeho výsledné vlastnosti. Pro dosažení vyšší pevnosti a tuhosti výstřiku je zapotřebí dosáhnout co nejvyššího stupně krystalinity a nejmenší velikosti sférolitů (chladnutím za teploty krystalizace, kdy vzniká největší počet krystalizačních zárodků). Tento proces lze ovlivnit nukleačními činidly (heterogenní nukleace), která urychlují krystalizační proces a vznikne jemná struktura s minimálním vnitřním napětím. [ 1,8]

#### **Sekundární krystalizace**

Dodatečná krystalizace, která může být spojena s deformacemi dílu nebo vznikem vnitřního napětí. Zvýšené teploty dodatečnou krystalizaci podporují.

Obsah krystalického podílu ve struktuře semikrystalického termoplastu je ovlivněn podmínkami chlazení ve vstřikovací formě, zejména teplotou formy. S nižší teplotou formy bude mít tentýž materiál nižší stupeň krystalinity a tím nižší hustotu, pevnost a naopak větší tažnost. Následné vystavení dílu zvýšené teplotě bude provázeno výrazně vyšší mírou sekundární krystalizace (dokrystalizace), která je provázena tvarovou a rozměrovou změnou výstřiku, nepříznivě ovlivňující funkčnost součástí.

U dílů vystavených při jejich aplikaci tepelné zátěži, bude zejména důležité, aby materiál při tuhnutí taveniny zkrystalizoval co nejlépe, a aby dodatečné smrštění bylo minimální (nutno volit odpovídající teplotu a dobu chlazení, popřípadě aditivovat materiál nukleačními činidly, které urychlí průběh krystalizace a tedy i solidifikaci taveniny plastu. [1,8 ]

#### **2.3.1.5. Kvalita výrobku: procesní parametry - výrobní smrštění**

Nastavení procesních parametrů definuje kvalitu vyráběného výrobku s ohledem na požadovaný rozměrově stabilní výrobek. Důležitými parametry pro výrobek jsou .

- Doba dotlaku
- Tlaková úroveň dotlaku
- Teplota stěny formy
- Teplota taveniny
- Vstřikovací rychlost
- Teplota vyhazování výrobku [ 6 ]

#### **2.3.1.6. Teplota stěny formy**

S nárůstem teploty stěny formy obdobně jako s narůstající tloušťkou stěny vzrůstá i hodnota smrštění. Doba zatuhnutí průřezu stěny se v důsledku zvýšeného obsahu tepla ve výstřiku prodlužuje a tím se zvyšuje i smrštění. Teplota stěny formy má vliv nejen na smrštění, ale i na tokové chování taveniny, krystalizační pochody u semikrystalických materiálů a i na profil vnitřního pnutí ve výrobku. [6 ]

#### **2.3.2. Vnitřní pnutí**

Vnitřní pnutí je stav napjatosti ve výlisku, který je vyvolán v důsledku objemových změn při vstřikování. Je odrazem procesních parametrů, jako je teplota taveniny, teplota formy, průběh plnění dutiny formy, dotlakové a ochlazovací fáze vstřikovacího procesu. Z hlediska kvality se jedná o jev velmi nebezpečný a jeho důsledkem jsou změny v rozměrech dílce již v průběhu po vyhození výlisku, ale k rozměrovým změnám dochází i během života výrobku.

U výrobků z termoplastů se setkáme s pěti základními druhy vnitřního pnutí:

- Tepelné pnutí
- Pnutí z přeplněné formy
- Pnutí nehomogenní orientace
- Pnutí deformační
- Pnutí krystalizační [6 ]

### **2.3.2.1. Tepelné pnutí**

Vzniká při chladnutí výrobku. Chladnutí probíhá od povrchu do středu a je doprovázeno teplotním smrštěním materiálu. Postupně vzniká od povrchu tuhnoucí vrstva a smrštění probíhá uvnitř výrobku. Důsledkem tohoto jevu vzniká v povrchové vrstvě tlakové a uvnitř výrobku tahové pnutí, které může ve středu stěny vyvolat vznik ředin, lunkrů a vakancí. Výsledkem teplotního profilu ve stěně výrobku je skutečnost, že jednotlivé vrstvy mají rozdílné hodnoty smrštění (čím vyšší teplota, tím větší smrštění). Jestliže jednotlivé vrstvy nejsou spolu spojeny žádnou vazbou jsou tedy rozpojené –samostatné, potom se mohou vzájemně volně pohybovat a smršťovat každá vrstva samostatně. V reálných výrobcích mezi vrstvami vazby existují, vazba omezuje vzájemné posunutí, v důsledku zamrznání od povrchu ke středu se mění a tak vnější vrstvy jsou delší než vnitřní a to jak ve směru toku taveniny, tak i ve směru kolmém na tok taveniny.

Všechny tvary, které propojují výrobek s formou (např. jádra), zadružují tepelnou kontrakci a vnášejí do výstřiku vnitřní pnutí. Toto silové působení tvarů formy na výrobek z vnějšku má vliv na smrštění a obvykle vede ke snížení rozměrových změn. [6,10]

### **2.3.2.2. Pnutí z přeplněné formy**

Vzniká v okolí místa ústí vtoku, stlačením taveniny na vyšší hodnotu v důsledku uplatnění vyššího tlaku, převážně působením dotlaku [6]

### **2.3.2.3. Pnutí nehomogenní orientace**

Vzniká vzájemným blokováním elastických deformací v sousedících oblastech tuhnoucí hmoty, oblasti se liší velikostí i směrem a tak mohou vyvolávat rozměrové změny. [6]

### **2.3.2.4. Pnutí deformační**

Vzniká mechanickým namáháním při vyhazování výrobku formy, může být vyvoláno např. nevhodně zvolenými úkosi výrobku, malou plochou vyhazovačů, přetahováním tvarových prvků výstřiku přes tvárníky atd. [6]

#### 2.3.2.5. Pnutí krystalizační

U semikrystalických materiálů vzniká důsledkem nestejných podmínek krystalizace v jednotlivých objemech a vrstvách stěny výrobku [6]

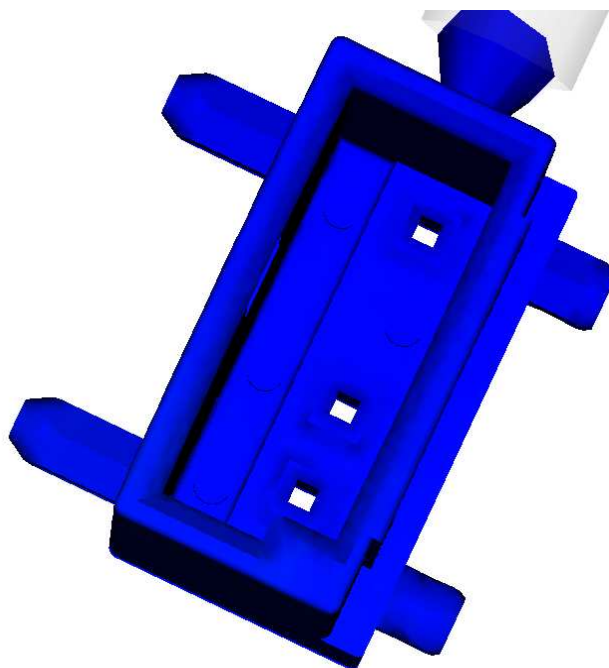
Z uvedených složek vnitřního pnutí má z hlediska rozměrů výrobku nejvýznamnější vliv pnutí tepelné. Obsah vnitřního pnutí ve výrobku je „neviditelný“ pokud tedy nedojde k deformaci. [6,10]

K jeho zviditelnění dojde po expozici v prostředí tzv. tenzoaktivním prostředí vyvolávající korozi napětí, které způsobí umělé uvolnění napětí nebo se vnitřní napětí uvolní rozříznutím výrobku. Relaxaci vnitřních pnutí lze napomoci tepelnou kondicionací výrobků (probíhá dokrystalizace, uvolnění napětí způsobené příliš nízkou teplotou stěny formy) [6,10]

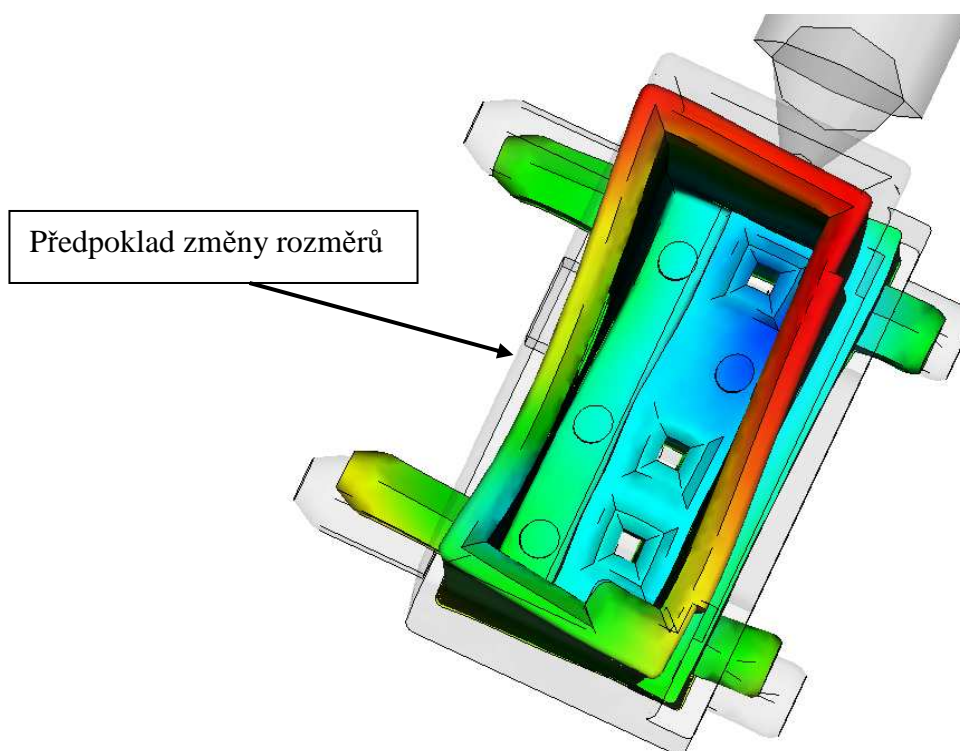
#### 2.3.1. Predikce kvality, deformací a změn rozměrů

Současné době lze hodnotit předpokládaný vývoj deformací a změn rozměrů pomocí simulačních programů. Tyto počítačové aplikace poskytují možnost hloubkově řešit, vyhodnocovat a optimalizovat plastový díl i vstřikovací formu a tím napomáhá ke studiu vstřikovacích procesů, užívaných v současné praxi. Nástroj, který umožní simulovat celý vstřikovací proces a do hloubky ho analyzovat před začátkem výroby nástrojů. [11]

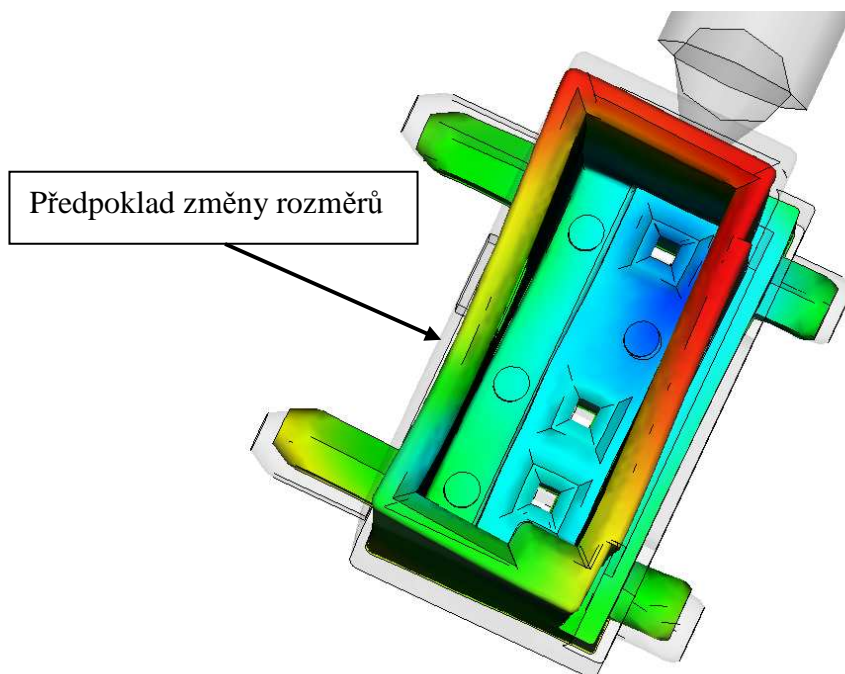
V případě plastových konektorů lze např. predikovat předpokládané výsledné deformace dílce po vstřikování za definovaných podmínek výrobního procesu a umožňuje vývojářům a konstruktérům získané poznatky využít při přípravě výroby požadovaného dílce v požadovaných rozměrech a kvalitě. Obr. 6 představuje požadovaný tvar dílce. Následné výsledky předpokládaných změn rozměrů dílce při výrobě představuje obr. 7 a 8; tyto analýzy zachycují předpokládané odchylky od ideálního tvaru dílce po výrobě. Tyto deformace a změny rozměrů lze při výrobě optimalizovat pomocí nastavení procesních parametrů, kde důležitou roli hraje teplota formy a celkový výrobní cyklus.



obr. 6. Výchozí model výrobku pro počítačovou simulaci, požadovaného tvaru a rozměrů



obr. 7. Výsledek simulační analýzy při teplotě formy 100°C – zřejmá deformace ve všech osách



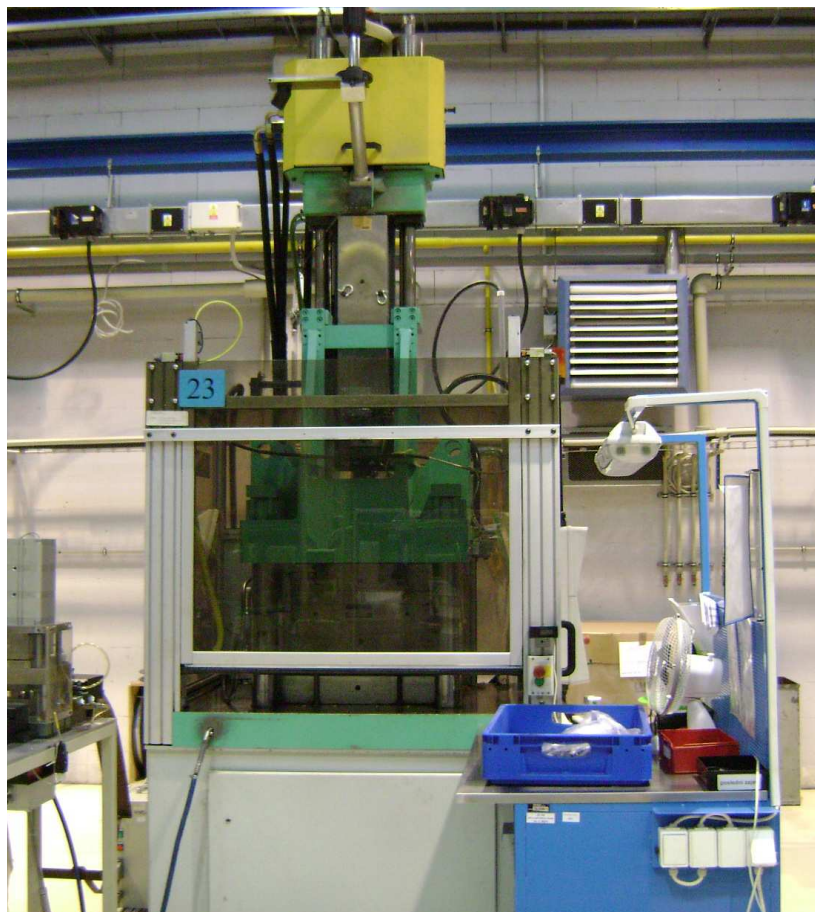
obr. 8. Výsledek simulační analýzy při teplotě formy 40°C – zřejmé zmenšení deformace oproti variantě s teplotou formy 100°C



### 3.Experimentální část:

#### 3.1. Popis experimentu:

Experiment spočívá ve vyrobení 6 x 30 ks vzorků vybraného dílce ze dvou typů konstrukčních materiálů (PA66 GF35 a PBT GF30) při různých teplotách formy a následné temperaci v horkovzdušné peci. Cílem je zjištění rozměrové stability dílce zatěžovaného následnou temperací. Na formě určené pro stroj Arburg (viz. **obr. 9**) jsou postupně pomocí vodního temperačního zařízení Tool-temp **obr.10** na formě nastaveny teploty 20°C ,60°C , 90°C a vždy vyrobeno 30 ks dílce. Celkem bylo vyrobeno 6 sad dílců po 30 kusech, které byly následně změřeny a temperovány v horkovzdušné peci.



obr. 9 Vstřikovací stroj Arburg





obr. 10. Tool-Temp Temperační přístroj vodní [ 12 ]

### **3.2.Postup experimentu :**

#### **3.2.1. Výroba 3x 30 ks výrobků z materiálu PBT GF30**

Materiál : Ensinger -Tecadur GF30

Teplota formy : a ) 20°C

b) 60°C

c) 90°C

#### **3.2.2. Výroba 3x 30 ks výrobků z materiálu PA 66 GF35**

Materiál : Lanxess - Durethan AKV35 H2.0

Teplota formy : a ) 20°C

b) 60°C

c) 90°C

#### **3.2.3. Temperování vzorků 6x 30 ks v horkovzdušné peci po dobu 2hodin**

Teplota pece: a) 90°C

b) 120°C

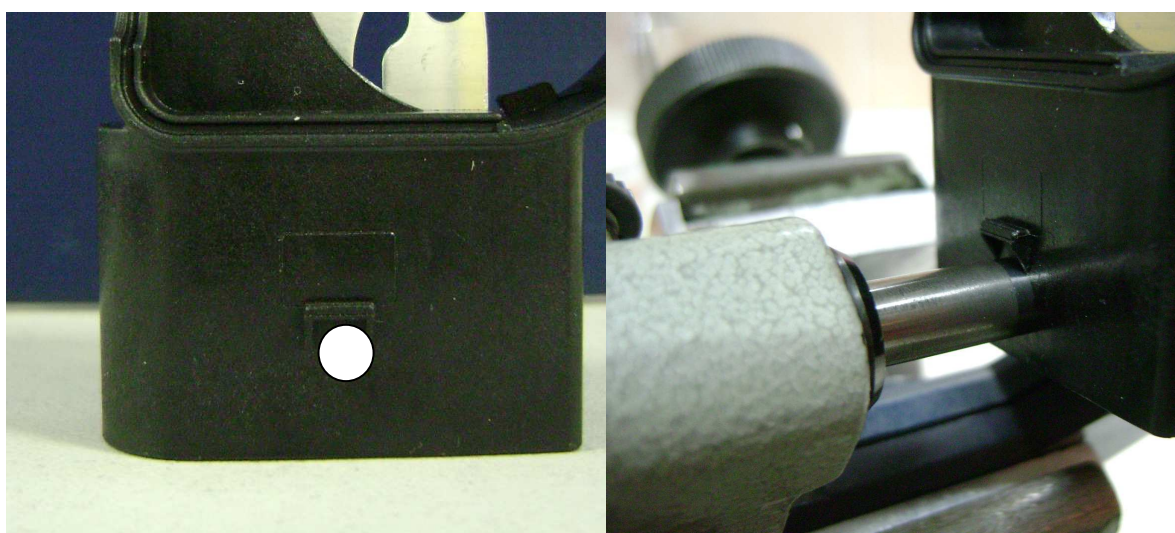
c) 150°C

### 3.2.4. Hodnocení rozměru (šířka konektoru) pomocí třmenového mikrometru.

Měření prováděno dle **obr.11** pomocí třmenového mikrometru , pro opakovatelnost měření použito k definování místa měření konstrukčního prvku dílce – západky na stěně viz. **obr.12**



obr. 11.Měření pomocí třmenového mikrometru

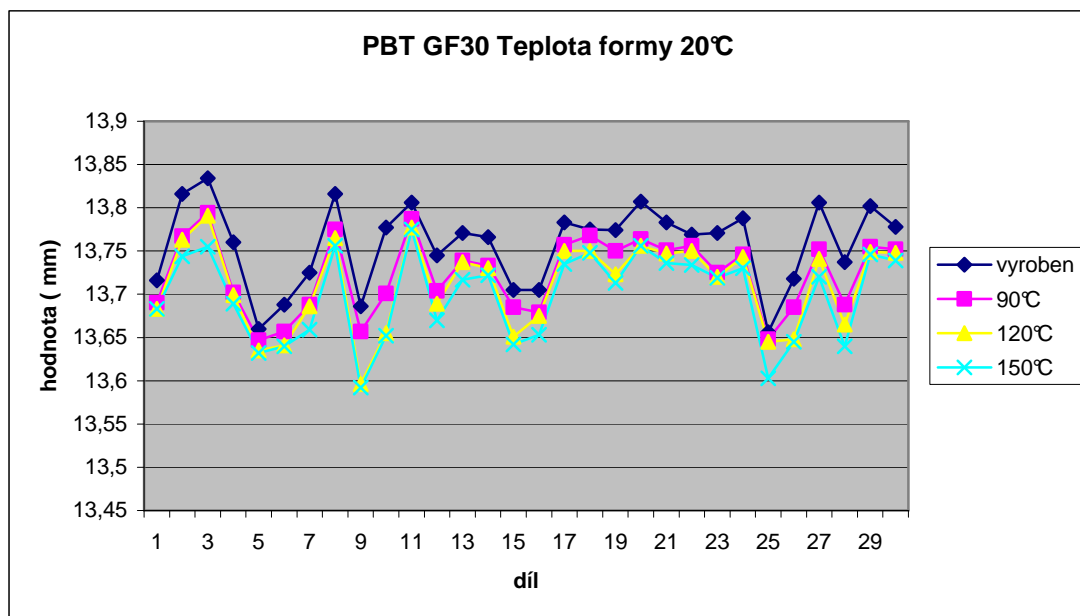


obr. 12. Definice měřícího bodu pomocí západky

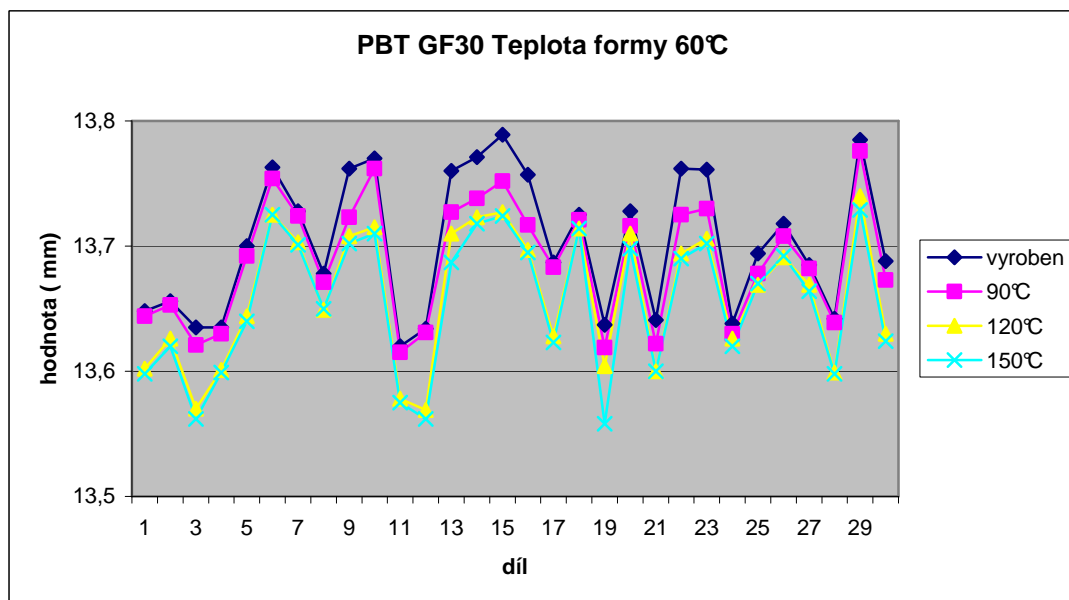
## 4. Výsledky

### 4.1. Grafy naměřených hodnot

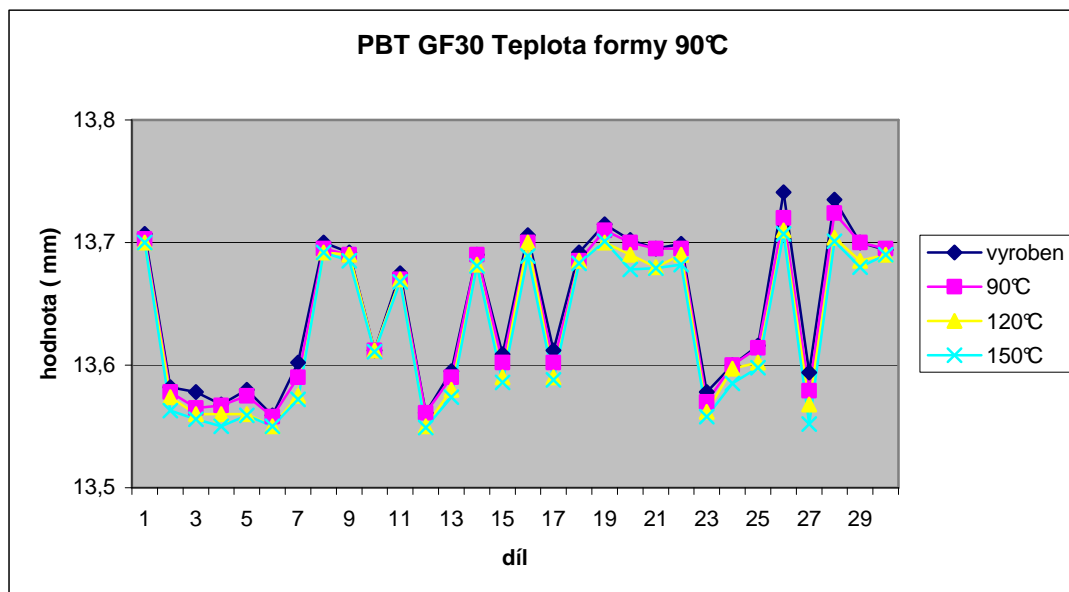
Graf 4.1.1. Výsledky naměřených hodnot rozměrů dílce z materiálu PBT GF30 při teplotě formy 20°C – po proběhlé temperaci.



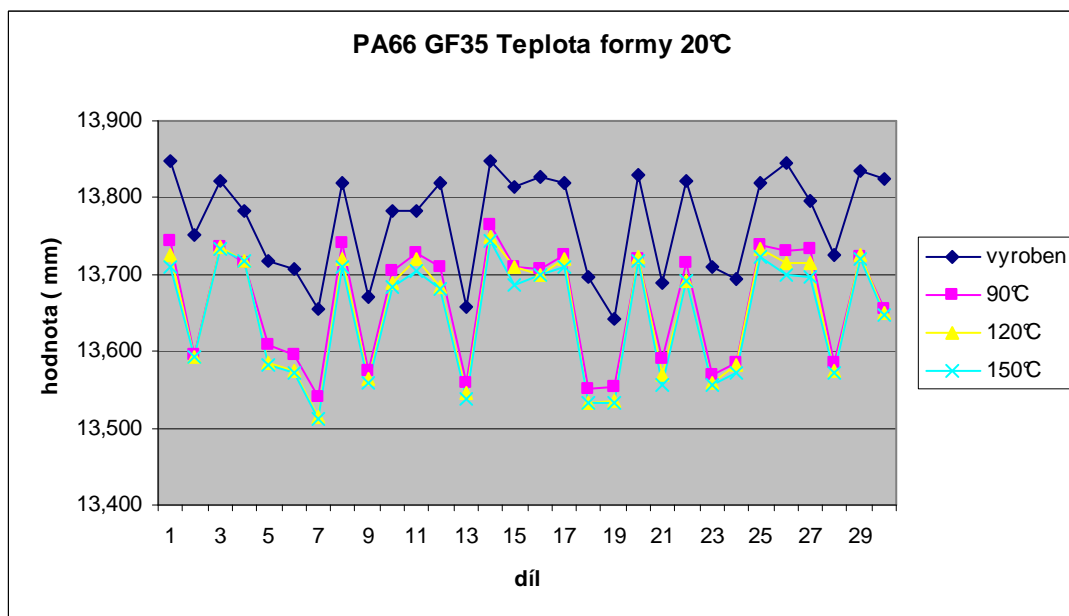
Graf 4.1.2. Výsledky naměřených hodnot rozměrů dílce z materiálu PBT GF30 při teplotě formy 60°C – po proběhlé temperaci.



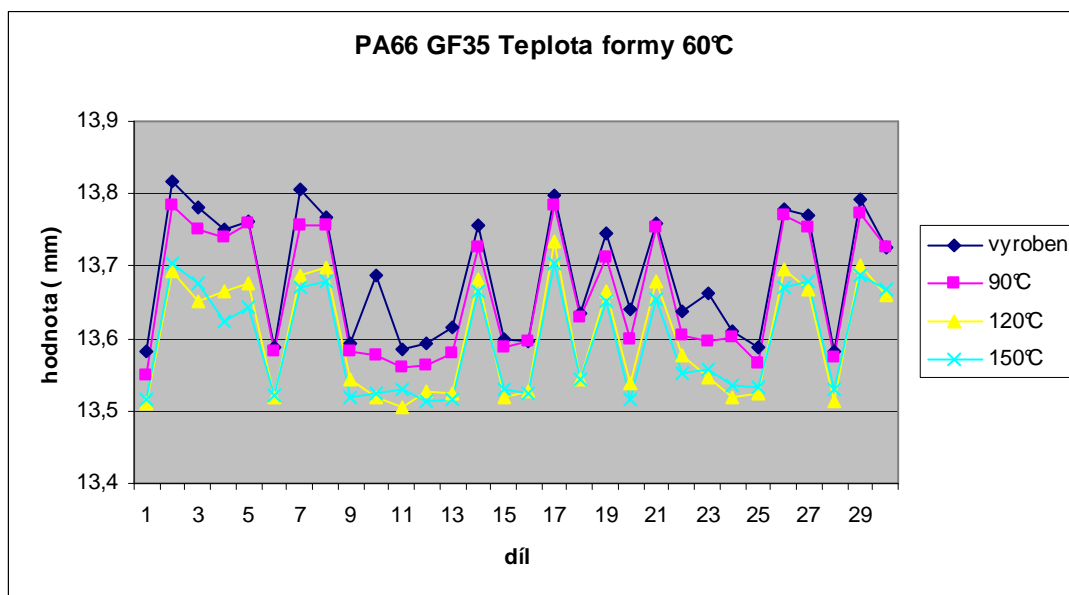
Graf 4.1.3. Výsledky naměřených hodnot rozměrů dílce z materiálu PBT GF30 při teplotě formy 90°C – po proběhlé temperaci.



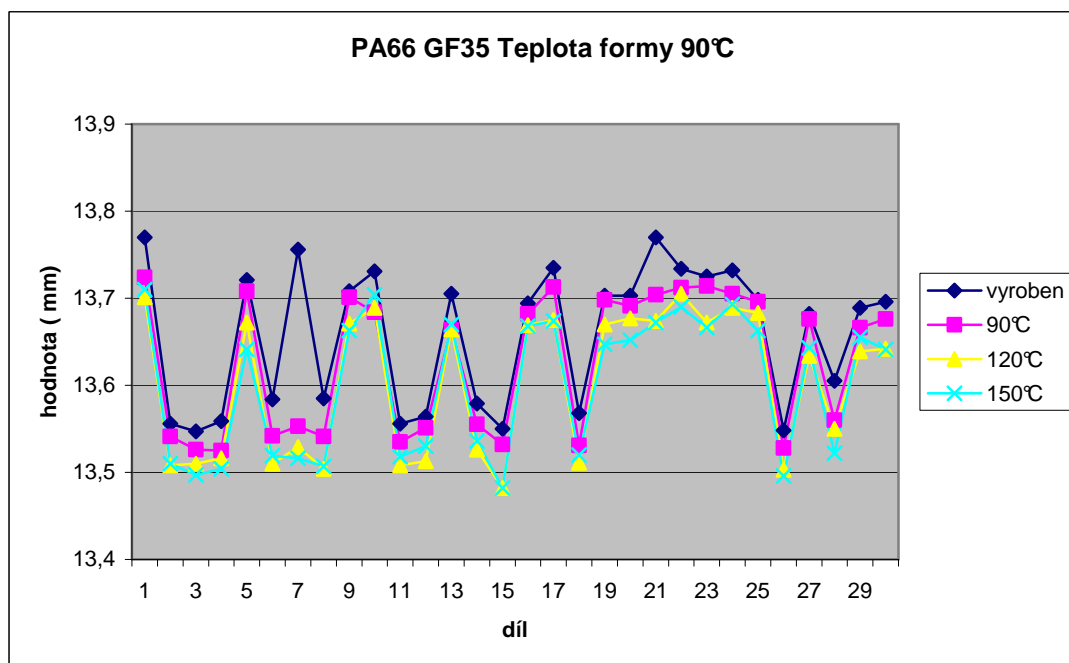
Graf 4.1.4. Výsledky naměřených hodnot rozměrů dílce z materiálu PA66 GF35 při teplotě formy 20°C – po proběhlé temperaci.



Graf 4.1.5. Výsledky naměřených hodnot rozměrů dílce z materiálu PA66 GF35 při teplotě formy 60°C – po proběhlé temperaci.



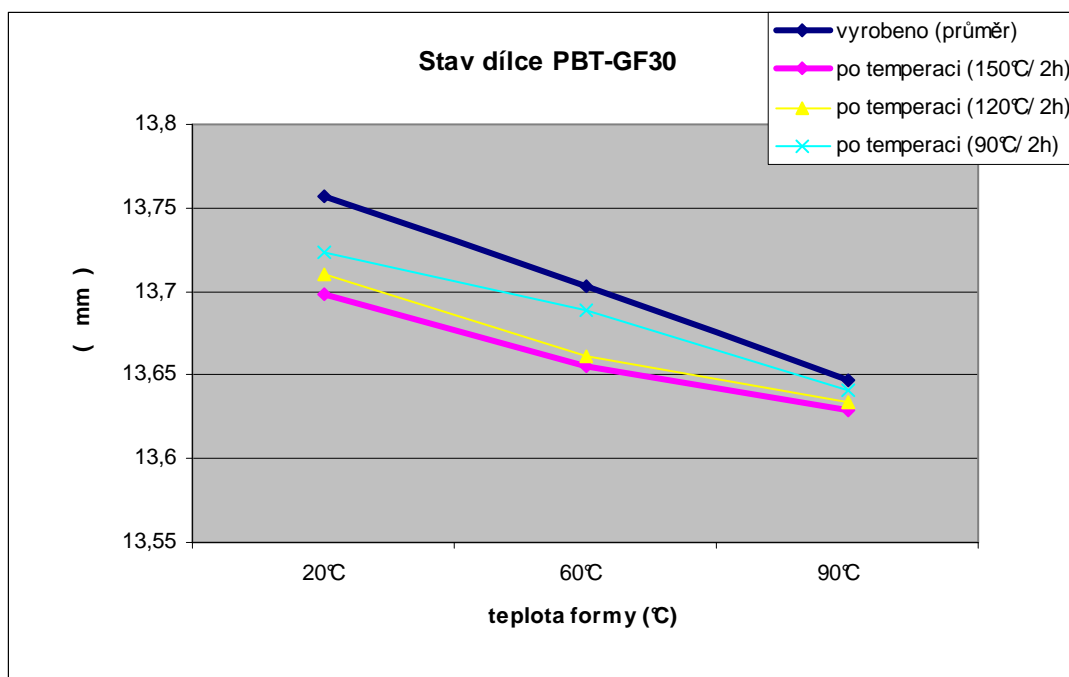
Graf 4.1.6. Výsledky naměřených hodnot rozměrů dílce z materiálu PA66 GF35 při teplotě formy 90°C – po proběhlé temperaci.



## 4.2. Shrnutí výsledků výroby a temperace.

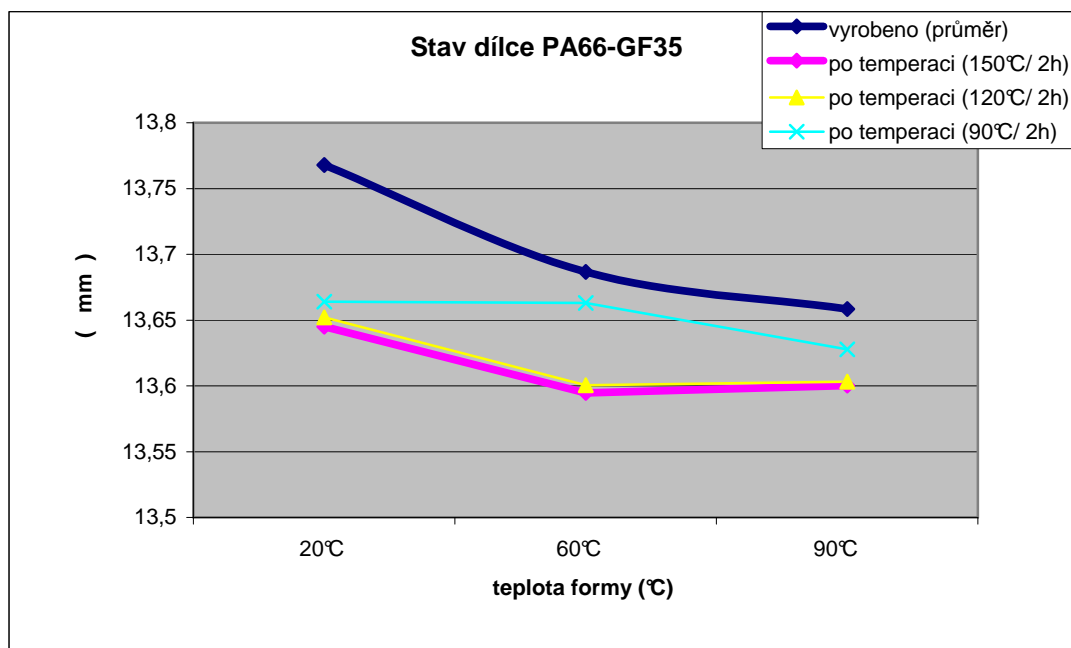
Graf : 4.2.1. Shrnutí výsledků rozměrů dílce z materiálu PBT GF30

(vynesené hodnoty jsou průměrné rozměry získané z 30 ks hodnocených dílů)



- a) Z uvedeného grafu je patrná změna rozměru dílce z PBT po temperaci, kdy
1. při teplotě formy 20°C je změna rozměru po teplotní zátěži v peci při 150 °C delta – 0,059 mm tj. změna o 0,42 %
  2. při teplotě formy 60°C je změna rozměru po teplotní zátěži v peci při 150 °C delta – 0,048 mm tj. změna o 0,35 %
  3. při teplotě formy 90°C je změna rozměru po teplotní zátěži v peci při 150 °C delta – 0,017 mm tj. změna o 0,13 %
- b) Při zatížení teplotou 90°C proběhne cca 50% celkových rozměrových změn a již teplota 120°C jsou změny rozměrů ukončeny a při dalším teplotním zatěžování se již vliv zatěžování neprojevuje.

Graf : 4.2.1. Shrnutí výsledků rozměrů dílce z materiálu PA66 GF 35  
(vynesené hodnoty jsou průměrné rozměry získané z 30 ks hodnocených dílů)



- a) Z uvedeného grafu je patrná změna rozměru dílce z PA66 po temperaci, kdy
1. při teplotě formy 20°C je změna rozměru po teplotní zátěži v peci při 150 °C delta – 0,123 mm tj. změna o 0,9 %
  2. při teplotě formy 60°C je změna rozměru po teplotní zátěži v peci při 150 °C delta – 0,092 mm tj. změna o 0,7 %
  3. při teplotě formy 90°C je změna rozměru po teplotní zátěži v peci při 150 °C delta – 0,058 mm tj. změna o 0,4 %
- b) Při zatížení teplotou 90°C při teplotě formy 20°C proběhne 80 % rozměrových změn. Pro teploty formy 60° a 90 °C je temperování při 90°C nedostatečné a stejně jako u materiálu PBT proběhne u všech třech variant nastavené teploty formy celková změna rozměrů při teplotním zatížení 120°C a další změny při dalším zatěžování jsou již zanedbatelné.

U obou typů konstrukčních materiálů je z výsledků patrný trend, kdy se společně se zvyšující teplotou formy snižuje rozdíl mezi rozměry dílce po výrobě a temperaci. Dílce vyráběné při vyšší teplotě formy vykazují vyšší stabilitu rozměrů při následném tepelném zatěžování.

## 5. Závěr:

U dvou obvyklých a pro své vlastnosti často používaných konstrukčních semikrystalických materiálů PA 66 GF35 a PBT GF30 je v této práci sledována rozměrová stabilita dílce - konektoru při výrobě za nastavených podmínek pro 3 různé teploty formy (20°C, 60°C, 90°C) a 3 teploty teplotní zátěže (90°C, 120°C, 150°C) kdy dílce byly následně vystaveny teplotní zátěži v horkovzdušné peci simulující podmínky předpokládaného pracovního zatížení výrobku.

Oba tyto konstrukční materiály lze použít pro svoje vlastnosti v podobných aplikacích a jejich volbu upřesní až konkrétní požadavky na díl a to převážně na pracovní prostředí, ve kterém bude umístěn. Důležitý je rozdíl v chování při absorpci vody - PA66 je oproti PBT vysoce navlhavý, a naopak PBT má dlouhodobě cca o 40°C menší teplotní odolnost. Tyto vlastnosti předurčují použití těchto materiálů např. PA66 GF 35 bude použit jako konektor turbodmychadla – vzhledem k teplotní expozici, materiál PBT GF30 bude použit jako nosič pro PCB desku plošného spoje, kde je důležitá rozměrová stálost vzhledem ke změnám rozměrů s absorpcí vody, např. spojení řízení pro Lambda sondu.

Rozměrová stabilita dílce je sledována pomocí vnějšího rozměru konektoru dílce pomocí třmenového mikrometru. **Obr. 6,7,8** – výsledky počítačové analýzy popisují předpokládaný vývoj tvaru a rozměrů dílce za nastavených podmínek. Výsledky pro měnící se teplotu formy popisují stav, kdy nízká teplota formy fixuje rozměr dílce dle tvárníku dutiny konektoru a umožňuje vyrobít výrobek, který se blíží ideálnímu tvaru. Tzn. rozměr dílce po výrobě vyhovuje rozměrovým požadavkům.

Rozborem výsledků bylo zjištěno, že trend rozměrové změny teplotně zatěžovaných dílců je u obou materiálů srovnatelný; teplotní zatížení 90°C vyvolá výrazné změny rozměrů a při teplotě zatížení 120°C dojde k dokončení rozměrových změn dílce a při následné teplotní zátěži 150°C je již dílec stabilní a nedochází k dalším změnám rozměrů.



Další pokračování práce v tomto experimentu je možné po úpravě na temperačním okruhu formy (hadice, použití bezpečnostních spojení) s cílem nastavit vyšší teplotu přesahující 100°C. Nastavením teploty formy nad 100°C ověřit zvýšení stability rozměru dílce z materiálu PA66 GF 35 na úroveň materiálu PBT GF 30, kdy je dílec z PBT GF 30 při teplotě formy 90 °C již téměř beze změn rozměrů po teplotní zátěži.

## 6. Seznam použité literatury

- [1] DUCHÁČEK, V. *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. [online]. 2. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2006 [cit. 2013-12-10]. ISBN 80-7080-617-6. Dostupné z: [http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_isbn-80-7080-617-6/pages-pdf/obsah.html](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-617-6/pages-pdf/obsah.html)
- [2] Technologie II: Zpracování plastů. TUL: KST [online]. [cit. 2013-12-30]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/01.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm)
- [3] BASTL, Jiří. *Technologie vstřikování termoplastů*. České Budějovice, 2009. Dostupné z: [http://theses.cz/id/5z3fkg/downloadPraceContent\\_adipIdno\\_13923](http://theses.cz/id/5z3fkg/downloadPraceContent_adipIdno_13923). Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce RNDr. František Špulák.
- [ 4 ] Polymerové typy PBT: RESINEX. [online]. [cit. 2013-12-10]. Dostupné z: <http://www.resinex.cz/polymerove-typy/pbt.html>
- [ 5 ] Polymerové typy PA: RESINEX. [online]. [cit. 2013-12-10]. Dostupné z: <http://www.resinex.cz/polymerove-typy/pa.html>
- [6 ] ZEMAN, L. *Vstřikování plastů*. 1st ed. 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [7 ] BĚHÁLEK, Luboš. Úvod do problematiky zpracování polymerů. In: *Kmt.tul.cz* [online]. [cit. 2013-12-10]. Dostupné z: [http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady\\_kmt\\_magistri/NEkM/NeM%20Kro/Uvod%20do%20problematiky%20pri%20zpracovani%20polymeru.ppt#33](http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/NEkM/NeM%20Kro/Uvod%20do%20problematiky%20pri%20zpracovani%20polymeru.ppt#33)
- [ 8 ] Krystalinita. Autodesk: WikiHelp [online]. [cit. 2013-12-10]. Dostupné z: [http://wikihelp.autodesk.com/Inventor/csy/2012/Help/1009-N%C3%A1stroje1009/1010-Mold\\_Des1010/1333-Slovn%C3%AD%C4%8De1333/1392-Krystali1392](http://wikihelp.autodesk.com/Inventor/csy/2012/Help/1009-N%C3%A1stroje1009/1010-Mold_Des1010/1333-Slovn%C3%AD%C4%8De1333/1392-Krystali1392)

[ 9 ] Morfologie: 3. *www.ksp.tul.cz* [online]. [cit. 2013-12-10]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/tzn/c2/morfologie3.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c2/morfologie3.pdf)

[ 10 ] *MM Průmyslové Spectrum: Vady výstřiků-Skryté vady* [online]. Praha: MM, 2010 [cit. 2013-12-10]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-5-dil-skryte-vady-vnitri-pnuti.html>

[ 11 ] Analýza vstřikování plastových dílů: Autodesk® Simulation Moldflow. SMARTPLAST. [online]. [cit. 2013-12-30]. Dostupné z: <http://www.smartplast.cz/ami.php>

[12] Temperační přístroje. [online]. [cit. 2013-12-04]. Dostupné z: <http://www.tool-temp.cz/temperacni-pristroje>

## **7. Seznam příloh:**

Příloha č.1.

Tab.1. Naměřené hodnoty pro dílce z materiálu PBT GF30 při teplotě formy 20°C a po následné temperaci.

Příloha č.2.

Tab. 2. Naměřené hodnoty pro dílce z materiálu PBT GF30 při teplotě formy 60°C a po následné temperaci.

Příloha č.3.

Tab. 3. Naměřené hodnoty pro dílce z materiálu PBT GF30 při teplotě formy 90°C a po následné temperaci.

Příloha č.4.

Tab. 4. Naměřené hodnoty pro dílce z materiálu PA 66 GF35 při teplotě formy 20°C a po následné temperaci .

Příloha č.5.

Tab. 5. Naměřené hodnoty pro dílce z materiálu PA 66 GF35 při teplotě formy 60°C a po následné temperaci.

Příloha č.6.

Tab. 6. Naměřené hodnoty pro dílce z materiálu PA 66 GF35 při teplotě formy 90°C a po následné temperaci.

Příloha č. 1

Tab 1. Naměřené hodnoty pro dílce z materiálu PBT GF30 při teplotě formy 20°C a po následné temperaci.

č.dílce	Vyrobeno (mm)	Temperace ( 2hod.)		
		90°C	120°C	150°C
1	13,716	13,690	13,683	13,683
2	13,816	13,767	13,763	13,744
3	13,834	13,794	13,791	13,755
4	13,760	13,702	13,699	13,689
5	13,660	13,647	13,635	13,632
6	13,688	13,657	13,641	13,640
7	13,725	13,688	13,686	13,659
8	13,816	13,775	13,765	13,756
9	13,686	13,657	13,596	13,592
10	13,777	13,701	13,655	13,652
11	13,806	13,787	13,777	13,775
12	13,745	13,704	13,689	13,670
13	13,771	13,739	13,737	13,717
14	13,766	13,733	13,730	13,722
15	13,705	13,685	13,651	13,642
16	13,705	13,679	13,675	13,653
17	13,783	13,757	13,750	13,735
18	13,775	13,768	13,750	13,748
19	13,774	13,750	13,723	13,713
20	13,807	13,764	13,756	13,756
21	13,783	13,751	13,747	13,736
22	13,769	13,756	13,750	13,734
23	13,771	13,725	13,720	13,719
24	13,788	13,746	13,743	13,730
25	13,656	13,648	13,645	13,603
26	13,718	13,685	13,648	13,645
27	13,806	13,752	13,741	13,720
28	13,737	13,688	13,665	13,640
29	13,802	13,755	13,749	13,746
30	13,778	13,752	13,748	13,739
<b>Průměr (mm)</b>	<b>13,757</b>	<b>13,723</b>	<b>13,710</b>	<b>13,698</b>

Příloha č. 2

Tab.2. Naměřené hodnoty pro dílce z materiálu PBT GF30 při teplotě formy 60°C a po následné temperaci.

č.dílce	Vyrobeno (mm)	Temperace ( 2hod.)		
		90°C	120°C	150°C
1	13,648	13,644	13,602	13,598
2	13,656	13,653	13,626	13,620
3	13,635	13,621	13,570	13,562
4	13,635	13,630	13,601	13,599
5	13,700	13,692	13,644	13,640
6	13,763	13,754	13,725	13,725
7	13,728	13,724	13,703	13,701
8	13,678	13,671	13,649	13,650
9	13,762	13,723	13,708	13,702
10	13,770	13,762	13,715	13,710
11	13,620	13,615	13,578	13,575
12	13,634	13,631	13,569	13,562
13	13,760	13,727	13,710	13,687
14	13,771	13,738	13,723	13,718
15	13,789	13,752	13,727	13,724
16	13,757	13,717	13,697	13,695
17	13,687	13,683	13,628	13,623
18	13,725	13,721	13,714	13,714
19	13,637	13,619	13,604	13,558
20	13,728	13,716	13,710	13,698
21	13,641	13,622	13,600	13,600
22	13,762	13,725	13,694	13,690
23	13,761	13,730	13,706	13,702
24	13,638	13,630	13,626	13,620
25	13,694	13,678	13,669	13,670
26	13,718	13,708	13,691	13,692
27	13,685	13,682	13,669	13,664
28	13,642	13,639	13,599	13,598
29	13,785	13,776	13,740	13,729
30	13,688	13,673	13,630	13,624
<b>Průměr (mm)</b>	<b>13,703</b>	<b>13,689</b>	<b>13,661</b>	<b>13,655</b>

## Příloha č. 3

Tab.3. Naměřené hodnoty pro dílce z materiálu PBT GF30 při teplotě formy 90°C a po následné temperaci.

č.dílce	Vyrobeno (mm)	Temperace ( 2hod.)		
		90°C	120°C	150°C
1	13,707	13,703	13,700	13,700
2	13,582	13,578	13,574	13,563
3	13,578	13,565	13,560	13,556
4	13,568	13,567	13,560	13,550
5	13,580	13,575	13,560	13,559
6	13,559	13,558	13,550	13,550
7	13,602	13,590	13,575	13,572
8	13,700	13,695	13,692	13,692
9	13,692	13,690	13,690	13,685
10	13,612	13,612	13,612	13,611
11	13,675	13,670	13,670	13,668
12	13,561	13,561	13,550	13,549
13	13,595	13,590	13,580	13,574
14	13,690	13,690	13,682	13,681
15	13,609	13,602	13,590	13,586
16	13,706	13,700	13,700	13,689
17	13,612	13,602	13,590	13,588
18	13,692	13,685	13,685	13,683
19	13,715	13,710	13,700	13,701
20	13,702	13,700	13,690	13,678
21	13,695	13,695	13,680	13,679
22	13,699	13,695	13,690	13,682
23	13,578	13,570	13,562	13,558
24	13,600	13,600	13,597	13,585
25	13,616	13,614	13,602	13,598
26	13,741	13,720	13,710	13,707
27	13,594	13,579	13,568	13,552
28	13,735	13,724	13,704	13,701
29	13,700	13,700	13,685	13,680
30	13,694	13,695	13,690	13,690
<b>Průměr (mm)</b>	<b>13,646</b>	<b>13,641</b>	<b>13,633</b>	<b>13,629</b>

Příloha č.4

Tab.4. Naměřené hodnoty pro dílce z materiálu PA 66 GF35 při teplotě formy 20°C  
a po následné temperaci .

č.dílce	Vyrobeno (mm)	Temperace ( 2hod.)		
		90°C	120°C	150°C
1	13,847	13,743	13,726	13,709
2	13,752	13,595	13,593	13,593
3	13,823	13,735	13,735	13,733
4	13,782	13,714	13,719	13,719
5	13,717	13,608	13,585	13,582
6	13,707	13,596	13,575	13,572
7	13,655	13,540	13,515	13,512
8	13,819	13,742	13,720	13,711
9	13,671	13,575	13,564	13,560
10	13,782	13,704	13,689	13,685
11	13,783	13,727	13,720	13,704
12	13,820	13,710	13,685	13,680
13	13,658	13,559	13,547	13,538
14	13,847	13,765	13,749	13,744
15	13,815	13,711	13,710	13,686
16	13,826	13,707	13,700	13,700
17	13,819	13,725	13,720	13,709
18	13,698	13,552	13,533	13,533
19	13,641	13,554	13,535	13,534
20	13,830	13,720	13,722	13,719
21	13,689	13,590	13,570	13,555
22	13,823	13,714	13,692	13,691
23	13,709	13,568	13,558	13,556
24	13,693	13,586	13,581	13,573
25	13,819	13,738	13,734	13,724
26	13,846	13,730	13,715	13,700
27	13,795	13,734	13,716	13,698
28	13,725	13,585	13,575	13,572
29	13,836	13,723	13,725	13,721
30	13,824	13,655	13,650	13,648
<b>Průměr (mm)</b>	<b>13,768</b>	<b>13,664</b>	<b>13,652</b>	<b>13,645</b>



## Příloha č.5

Tab.5. Naměřené hodnoty pro dílce z materiálu PA 66 GF35 při teplotě formy 60°C  
a po následné temperaci.

č.dílce	Vyrobeno (mm)	Temperace ( 2hod.)		
		90°C	120°C	150°C
1	13,582	13,548	13,511	13,515
2	13,818	13,783	13,692	13,705
3	13,781	13,751	13,651	13,677
4	13,750	13,740	13,665	13,624
5	13,763	13,759	13,676	13,644
6	13,587	13,581	13,519	13,521
7	13,807	13,756	13,686	13,671
8	13,767	13,755	13,699	13,680
9	13,592	13,582	13,545	13,520
10	13,686	13,577	13,519	13,524
11	13,586	13,561	13,506	13,530
12	13,592	13,563	13,526	13,512
13	13,615	13,580	13,523	13,515
14	13,756	13,727	13,681	13,666
15	13,599	13,589	13,520	13,529
16	13,597	13,595	13,526	13,524
17	13,799	13,784	13,733	13,705
18	13,636	13,628	13,544	13,545
19	13,746	13,713	13,664	13,652
20	13,641	13,600	13,538	13,516
21	13,759	13,754	13,679	13,653
22	13,637	13,604	13,578	13,553
23	13,662	13,595	13,547	13,558
24	13,609	13,602	13,520	13,536
25	13,587	13,565	13,523	13,533
26	13,779	13,770	13,696	13,672
27	13,769	13,753	13,669	13,678
28	13,581	13,575	13,514	13,529
29	13,792	13,772	13,701	13,688
30	13,726	13,725	13,661	13,667
<b>Průměr (mm)</b>	<b>13,687</b>	<b>13,663</b>	<b>13,600</b>	<b>13,595</b>

## Příloha č.6

Tab.6. Naměřené hodnoty pro dílce z materiálu PA 66 GF35 při teplotě formy 90°C  
a po následné temperaci.

č.dílce	Vyrobeno (mm)	Temperace ( 2hod.)		
		90°C	120°C	150°C
1	13,770	13,724	13,701	13,710
2	13,556	13,541	13,508	13,510
3	13,547	13,526	13,510	13,497
4	13,559	13,525	13,516	13,504
5	13,721	13,708	13,672	13,641
6	13,584	13,542	13,510	13,519
7	13,756	13,553	13,529	13,516
8	13,585	13,541	13,504	13,507
9	13,708	13,701	13,671	13,663
10	13,731	13,684	13,689	13,704
11	13,556	13,535	13,508	13,518
12	13,564	13,551	13,513	13,530
13	13,705	13,664	13,664	13,670
14	13,579	13,555	13,526	13,536
15	13,550	13,532	13,482	13,482
16	13,694	13,682	13,669	13,668
17	13,735	13,713	13,675	13,674
18	13,568	13,531	13,511	13,520
19	13,703	13,698	13,670	13,647
20	13,703	13,691	13,677	13,652
21	13,770	13,704	13,674	13,672
22	13,734	13,712	13,705	13,690
23	13,725	13,714	13,672	13,666
24	13,732	13,705	13,689	13,693
25	13,698	13,696	13,683	13,663
26	13,548	13,528	13,503	13,496
27	13,682	13,676	13,634	13,643
28	13,605	13,560	13,550	13,522
29	13,689	13,666	13,639	13,655
30	13,696	13,676	13,642	13,641
<b>Průměr (mm)</b>	<b>13,658</b>	<b>13,628</b>	<b>13,603</b>	<b>13,600</b>

### **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 - školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 3.1.2014

Podpis

### **Declaration**

I have been notified of the fact that Copyright Act. No. 121/2000 Coll. Applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this case. TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 3.1.2014

Signature: